ELECTROPHYSIOLOGIE.

1. Introduction et généralités.

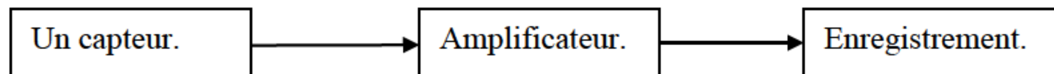
L'électrophysiologie consiste en l'étude des propriétés électriques des cellules qui se traduisent par une activité électrique. Ces propriétés dépendent des caractéristiques de la membrane cellulaire.

En sciences médicales, son but est d'arriver à la compréhension et à la description du fonctionnement des organes, à partir de l'enregistrement de l'activité électrique de cet organe.

2. Constitution d'une chaîne de mesure.

Le phénomène physiologique qui transmet un signal électrique, une tension ou une intensité, est recueilli par un capteur adapté. Dans le cas général le signal est faible et ne peut être analysé. On utilise un amplificateur qui permet d'amplifier le signal pour que ce dernier puisse être interpréter.

La chaîne de mesure est généralement formée par :



2.1 Capteurs : Ce sont des capteurs sensibles qui permettent de recueillir le signal électrique transmis par l'organe ou la cellule. Un gel spécifique est utilisé afin de minimiser les effets de contact. Généralement l'information recueillie est composée de :

2.1.1 Information utile : Cette information utile nous permet d'étudier le phénomène désiré, elle est appelée signal. Le signal est accompagné d'information inutile.

2.1.2 Information inutile : Cette information est appeler le bruit, elle provient d'autres phénomènes physiologiques secondaires comme elle peut provenir aussi de parasites qui n'ont aucune relation avec le phénomène à étudier. Ce bruit est inévitable.

Il faut signaler qu'il existe deux natures de signaux recueillis.

a. Les signaux résultants de l'activité électrique de la source, tel que les muscles, le cerveau ou le cœur.
b. Les phénomènes biologiques qui doivent être traduits en phénomènes électriques.

2.2 Amplificateurs : L'amplificateur possède deux rôles principaux.

2.2.1 Il permet d'amplifier l'information recueillie afin d'être analysé.

2.2.2 De séparer entre l'information utile (signal) et l'information inutile recueillie par le capteur.

L'information recueillie est une fonction du temps composée par :

$$X(t) = S(t) + B(t).$$

Avec X(t) est l'information recueillie.
S(t) est le signal ou l'information utile.
B(t) est le bruit ou l'information inutile.

2.3 Enregistreurs : Il permet d'enregistrer l'information amplifiée et traitée. Il existe deux types d'enregistrements :

2.3.1 Enregistreurs sur bande : L'information est enregistrée sur une feuille millimétrée simplifiant l'analyse de l'information, tel que ECG, EEG.

2.3.2 Enregistreurs vidéo : Ils permettent d'enregistrer des images telles qu'échographies.

3. Électrophysiologie cellulaire.

3.1 Définition : L'électrophysiologie consiste en l'étude des propriétés électriques des cellules. Ces propriétés dépendent des caractéristiques de la membrane cellulaire.

A l'état de base, toutes les cellules vivantes possèdent une répartition de charges différente entre l'intra et l'extra cellulaire. Ces charges électriques donnent à la cellule vivante des propriétés électriques.

La différence de potentielle est strictement localisée à la membrane. Et toute modification de cette différence de potentielle entraînera une réaction ou une réponse de membrane cellulaire.

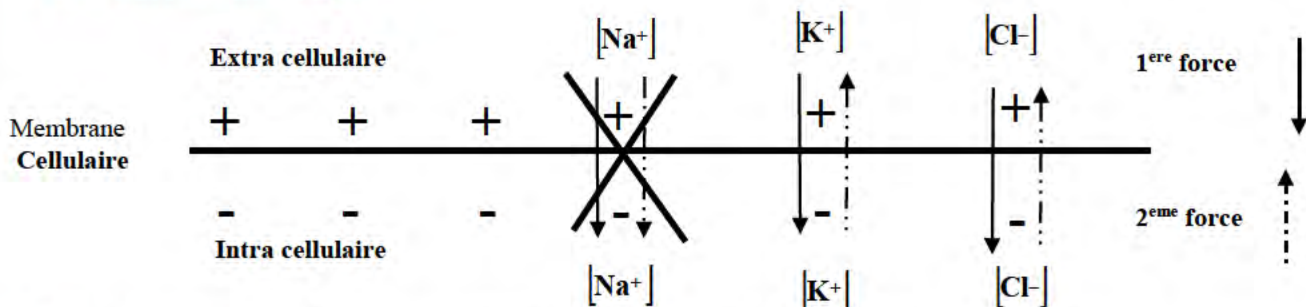
3.2 Potentiel de repos :

3.2.1 Répartition des charges :

L'inégalité de la répartition des charges entre les deux faces de la membrane cellulaire entraîne la création d'une différence de potentielle localisée à la membrane.

La face interne étant toujours chargée négativement la face externe positivement. La composition ionique du milieu **extra cellulaire** est surtout composée d'ions Na^+ alors que le K^+ est surtout **intra cellulaire**.

3.2.2 Forces mises en jeux :



Il existe trois types de forces permettant le déplacement des ions à travers la membrai

3.2.2.1 Différence de concentration :

La charge électrique ou l'ion se déplace du milieu le **plus concentré** vers le milieu le **moins concentré**. Ce phénomène est appeler **Diffusion.** La diffusion est **régie par la loi de FICK.**

L'ion **Na^+** étant essentiellement extra cellulaire va tendre à se déplacer vers l'intérieur de la membrane.

L'ion **K^+** étant intra cellulaire va tendre à se déplacer vers l'extérieur de la membrane.

L'ion **Cl^-** se trouvant à l'extérieur de la cellule va se déplacer vers l'extérieur de la membrane.

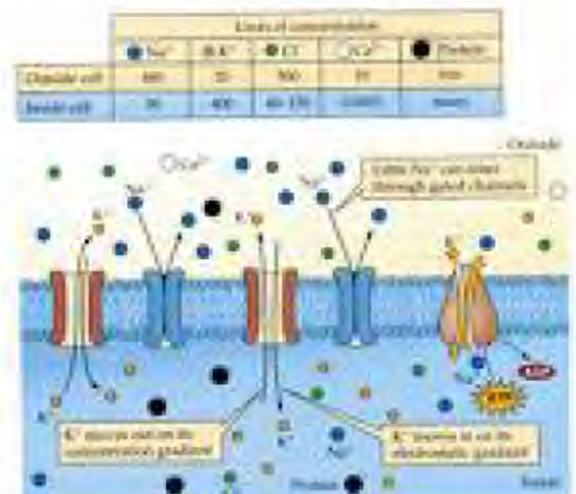
3.2.2.2 Différence de potentielle :

Cette différence de potentielle tend à déplacer les charges électriques dans le sens du champ généré par la différence de potentielle si la charge est positive. Et dans le sens opposé si la charge est négative. Ce qui donne que :

L'ion **Na^+** étant essentiellement extra cellulaire va tendre à se déplacer vers l'intérieur de la membrane.

L'ion **K^+** se trouvant à l'extérieur va tendre à se déplacer vers l'intérieur de la membrane.

L'ion **Cl^-** se trouvant à l'intérieur de la membrane cellulaire va se déplacer vers l'extérieur de la membrane.



3.2.2.3 Différence de pression :

Cette différence de pression est négligée dans les phénomènes d'électrophysiologie.

3.2.3 Conclusion.

Le chlore et le potassium peuvent rentrer et sortir de la membrane cellulaire grâce aux deux forces citées précédemment, la force de concentration et la force électrique. L'une des forces déplace l'ion vers l'extérieur l'autre le ramène vers l'intérieur. On déduit qu'un équilibre va s'établir pour ces deux ions entre l'extérieur et l'intérieur de la membrane.

Pour l'ion du sodium les deux forces tendent à le ramener vers l'intérieur de la membrane cellulaire. Ce qui risque de déstabiliser la répartition de charge. **Boyle** et **CONWAY** stipule que la membrane cellulaire est imperméable au sodium. Cette constatation sur l'équilibre de la répartition de charge permet d'envisager l'existence d'un potentiel de repos entre les deux faces de la membrane cellulaire.

D'autre études ont montrées, en utilisant le sodium radioactif, que la membrane est semi perméable au sodium **(HODGIN'S)**. Elles mettent en évidence l'existence d'une pompe Na^+/K^+ responsable du maintient de l'équilibre.

Le maintient de l'équilibre des charge positives à l'intérieur et négatives à l'extérieur de la membrane cellulaire est due à un courant permanent majoritairement d'ion potassium à travers des canaux ioniques. Ce courant dissipe la force électro osmotique causée par la différence de concentration entre différentes espèces ioniques. Cette différence de concentration est maintenue en permanence par l'activité de la pompe qui transporte activement le sodium vers l'extérieur et le potassium vers l'intérieur de la membrane en utilisant de l'énergie métabolique.

3.2.4 Mesure du potentiel de repos :

Pour mesurer le potentiel de repos on utilise des microélectrodes, l'une placée à l'extérieur de la cellule l'autre à l'intérieur de la cellule. Ces deux microélectrodes sont reliées à un voltmètre qui permet de mesurer

la différence de potentielle de repos de la cellule. Cette différence de potentielle varie entre – 50 mV et – 90 mV. Plus la **différence de potentielle** est grande plus la cellule est dite **excitable**.

3.3 Potentiel d'action :

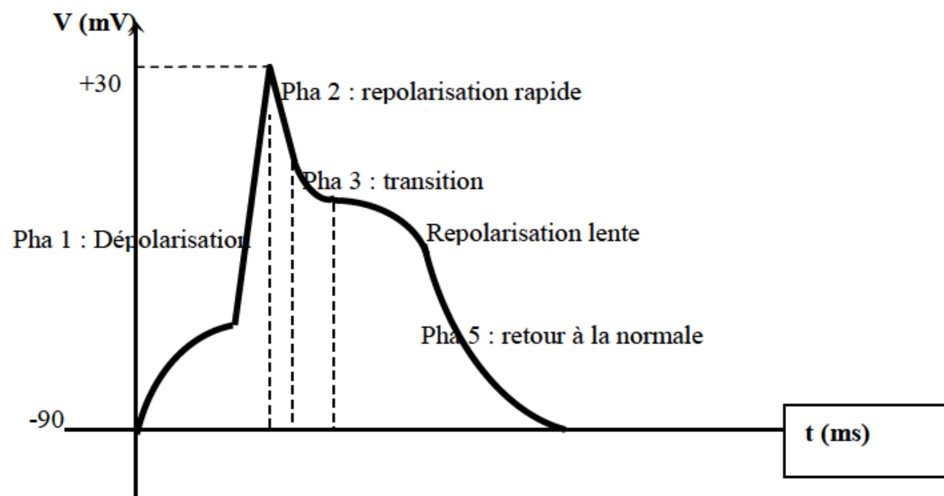
3.3.1 Description :

Si l'on stimule la membrane avec un phénomène externe mécanique ou électrique on aboutit à un changement de la répartition de charge de la membrane.

Lorsqu'un courant électrique traverse la membrane, la polarité de la membrane change, la face interne devient positive et la face externe devient négative. Ce changement de charge est dit dépolarisation, c'est à dire, l'inversion de la polarité de la membrane.

La dépolarisation donne naissance à une diminution de la différence de potentielle où le potentiel de repos est de l'ordre de – 90 mV.

La courbe suivante montre l'évolution de la différence de potentielle en fonction du temps.



Le temps de la stimulation est toujours considéré comme étant négligeable en électrophysiologie.

Sur le graphe, l'axe des abscisses représente le temps et l'axe des ordonnées représente la différence de potentielle V. On distingue quatre phases.

1ère phase : Elle représente la phase de dépolarisation qui est due à l'excitation externe. Cette excitation va provoquer une inversion du potentiel électrique. L'intérieur de la cellule devient positif et l'extérieur devient négatif.

2 eme phase : Elle représente la phase de la repolarisation rapide une fois que l'excitation est terminée.

3eme phase : C'est une phase de transition. Elle n'existe pas chez les cellules nerveuses, elle est spécifique aux cellules cardiaque.

4eme phase : C'est une phase de repolarisation lente qui permet à la cellule de revenir à la normale si l'excitation n'est pas poursuivie. C'est à dire une polarité positive à l'extérieure et une polarité négative à l'intérieur de la membrane cellulaire.

Remarque :

- Pendant les deux premières phases la cellule ne répond pas aux excitations, cette période est dite réfractaire.
- La troisième phase est dite période réfractaire relative, la cellule répond aux stimulations importantes c'est à dire les fortes excitations.
- Pendant la quatrième phase la cellule est super normale, elle est hyperexcitable, elle répond immédiatement à toute autre stimulation.
- Dans la dernière phase la cellule devient normale.
- La durée d'un cycle d'activation est de l'ordre de 58 millisecondes.

3.3.2 Définition du potentiel d'action :

A l'état de base la membrane cellulaire est **semi perméable** au **sodium** mais **perméable** au **potassium** et au **chlore**. L'excitation externe a provoqué un changement de polarité, ce qui veut dire que le **sodium** est passé en **grande quantité** à l'intérieur de la membrane cellulaire, et que le **potassium** en est **sorti**.

Il existe dans la membrane cellulaire des macromolécules appelée, canaux, responsable du passage de sodium et du potassium à travers la membrane. Ce passage est autorisé si ces canaux sont ouverts ou non. En absence de potentiel d'action, les **canaux sodium** sont fermés et les **canaux potassium** sont ouverts.

Lorsque la membrane est excitée les canaux sodium s'ouvrent, une augmentation considérable du sodium à l'intérieur de la membrane, ce qui explique la pointe (Spike) du potentiel d'action.

Lorsque l'excitation est passée la membrane cellulaire revient a sont état normal, et la pompe sodium potassium s'active pour faire sortir l'excès de sodium de l'intérieur de la cellule, et faire rentrer le potassium vers l'intérieur de la membrane cellulaire.

3.3.3 La propagation du potentiel d'action le long d'une fibre nerveuse.

On peut considérer que le phénomène de dépolarisation\repolarisation débute à une extrémité de la fibre et se propage le long de la fibre vers l'extrémité le long de son axone. Si la fibre est myélinisée, il se propage de façon saltatoire, entre deux nœuds de Renvier.

La différence principale entre la fibre nerveuse et la cellule cardiaque, est que la fibre cardiaque se dépolarise entièrement avant que la repolarisation débute. Dans la cellule nerveuse, on peut trouver une partie dépolarisée alors que l'autre partie est repolarisée.

Le modèle suivant explicite l'évolution du potentiel d'action le long d'un axone.

3.3.4 Signaux électriques et débit sanguin.

3.3.4.1 Anatomie du cœur : On trouve deux types de tissus cardiaques.

- **Le tissu nodal** : Le rôle principal du tissu nodal est l'élaboration et la conduction de l'influx nerveux (on trouve le nœud sinusal, nœud auriculo-ventriculaire, le faisceau de **HIS** et le réseau de **PURKINJE**).
- **Le tissu myocardique** : dont la fonction principale est la contraction.

Les cellules cardiaques sont caractérisées par quatre propriétés importantes, (l'excitabilité, la conduction, l'automatisme et la contractilité).

3.3.4.2 Rôle et fonction : L'influx nerveux ne peut passer des oreillettes aux ventricules que par le nœud auriculo-ventriculaire. Il existe un anneau fibreux qui réalise l'isolation électrique entre les oreillettes et les ventricules, pour éviter la contraction respective des oreillettes et des ventricules.

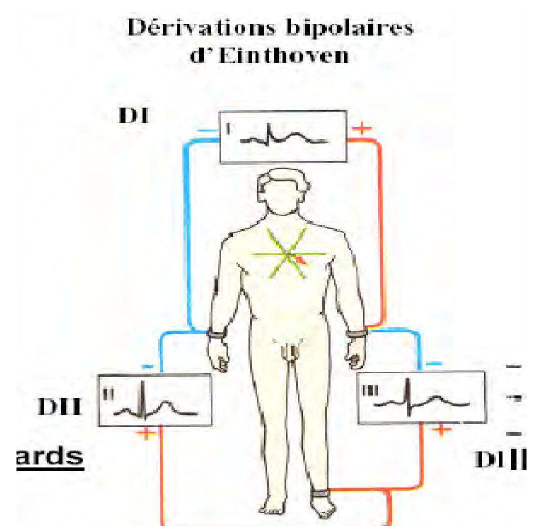
3.3.4.3 Chemin suivi par l'influx nerveux : Le chemin suivi par l'influx est le suivant :

- Le signal électrique nait au niveau du nœud sinusal.
- Il est conduit à travers les oreillettes (contraction des oreillettes).
- Il passe au niveau du nœud auriculo-ventriculaire situé a la base des oreillettes ou il subit un retard de 0,15 secondes pour séparer entre les contractions des oreillettes et des ventricules.
- Il passe à travers le faisceau de HIS pour se propager dans les parois des ventricules.
- Il est rapidement conduit dans les cellules myocardiques ventriculaires par le réseau de PURKINJE (contraction des ventricules).

3.3.4.4 L'électrocardiographe (ECG).

3.3.4.4.1 Généralités : le cœur donne lieu à des phénomènes électriques lors de son fonctionnement. Il peut être considérer comme une source électrique dont on peut mesurer les effets sous forme de signal électrique.

3.3.4.4.2 Dipôle électrique. Le feuillet électrique est constitué de deux milieux conducteurs séparés par un isolant d'épaisseur mince. Des charges électriques positives et négatives se trouvent de part et d'autre du feuillet avec une densité de charge identique. Le feuillet peut être assimilé à un dipôle électrique.



3.3.4.4.3 Différence entre une cellule cardiaque et une cellule nerveuse. Le potentiel de repos d'une cellule cardiaque est du même ordre de grandeur que celui des cellules nerveuses, la différence réside au niveau de l'existence du calcium qui joue un rôle très important dans la cellule cardiaque. Mais le potentiel d'action d'une cellule cardiaque est très différent de celui d'une cellule nerveuse. On peut considérer que le phénomène de dépolarisation/repolarisation débute à une extrémité de la fibre et se propage vers l'autre extrémité. Dans les cellules cardiaques les phases de dépolarisation/repolarisation sont **totalement séparées**.

3.3.4.5 Dérivation :

3.3.4.5.1 Dérivation des membres : trois électrodes sont placées sur la main gauche, droite et un des pieds. Elles permettent de mesurer les potentiels VR, VL et VF. Ces dérivations sont dites unipolaires. Trois autres dérivations, dites bipolaires sont déduites des précédentes, D1, D2 et D3.

D1 = VL – VR, D2 = VF – VR, D3 = VF – VL.

Ces six dérivations permettent d'explorer le cœur dans un plan frontal. Elles permettent un enregistrement à grande distance du cœur, le cœur est assimilé à un dipôle électrique.

3.3.4.5.2 Dérivation précordiales : Six autres dérivations unipolaires (V1, V2, V3, V4, V5 et V6) sont placées en des endroits précis sur le thorax. Ces dérivations permettent d'explorer le cœur dans un front horizontal, le cœur est considéré comme un feuillet électrique.

3.3.4.5.3 Théorie d'EINTHOVEN : Pour expliquer facilement les tracés observés dans les membres, EINTHOVEN fait trois suppositions.

- En voie d'activation ou de restauration, le cœur peut être assimilé à un dipôle électrique.
- Le centre du vecteur moment de ce dipôle peut être considéré fixe (cœur).
- Les dérivations R, L et F sont supposées être sur les sommets d'un triangle équilatéral.

3.3.4.6 Lecture d'un ECG.

3.3.4.6.1 Terminologie et normes. Sur un tracé d'électrocardiographie, le premier repère est la ligne isoélectrique. Elle est la ligne de base correspondant à l'absence de phénomène électrique. Au dessus de celle-ci l'onde est positive et au dessus l'onde est négative. Une onde peut être diphasique si une partie est positive l'autre est négative.

3.3.4.6.2 L'onde P : c'est une petite qui représente la dépolarisation des oreillettes qui se propage du nœud sinusal a l'ensemble des cellules des oreillettes. Une fraction de seconde après le début de l'onde P, les oreillettes se contractent, on parle alors de systole auriculaire.

3.3.4.6.3 Le complexe QRS : Il commence par une déflexion vers le bas, se poursuit sous forme d'une grande onde triangulaire vers le haut et se termine par une onde descendante. Ce complexe représente dépolarisation des ventricules en même temps que la repolarisation des oreillettes. Peu après le début du complexe QRS, les ventricules commencent à se contracter et les oreillettes a ce relâcher. On parle de systole ventriculaire et de diastole auriculaire.

3.3.4.6.4 L'onde T : c'est la troisième onde, elle forme une déflexion vers le haut. Elle représente la repolarisation des ventricules. Peu après le début de cette onde les ventricules se relâchent. On parle alors de la diastole ventriculaire.